



Cristina Poretti, Adrian Hess, Gerald Scharding

23. Juni 2023

# Aeroradiometrie-Messkampagne 2023

vom 19. bis 23. Juni 2023

## Übungsbericht und Messresultate



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Übung Aeroradiometrie 2023</b> .....	<b>4</b>
2.1	Messflüge in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen.....	4
2.2	Messflüge in der Grossumgebung der Schweizer Kernanlagen.....	4
2.3	Städtemessungen Rapperswil-Jona und benachbarte Ortschaften, Landquart und Klosters.....	4
2.4	Messtechnisch interessanter Flug um den Berg «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR).....	4
2.5	Quellensuche und Feldübung mit Drohneneinsatz.....	4
2.6	Allgemeine Ziele des Aeroradiometrie-Teams.....	5
2.7	Information der Bevölkerung, der Medien und der Behörden.....	5
2.8	Wissenschaftlicher Bericht.....	5
2.9	Beteiligte Partnerorganisationen.....	6
<b>3</b>	<b>Messresultate</b> .....	<b>7</b>
3.1	Standardmessprogramm um die Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen.....	7
3.2	Grossumgebung des KKW Gösgen in südlicher Richtung.....	11
3.3	Städtemessungen Rapperswil-Jona und benachbarte Ortschaften sowie Landquart und Klosters.....	12
3.4	Messtechnisch interessanter Flug um den Berg «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR).....	16
3.5	Quellensuche und Feldübung mit Drohneneinsatz.....	18
<b>4</b>	<b>Erkenntnisse</b> .....	<b>26</b>
<b>Anhang A:</b>	<b>Aeroradiometrie allgemein</b> .....	<b>27</b>

## 1 Zusammenfassung

Am Montag der jährlichen Aeroradiometrie-Messwoche der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) wurde das Standardmessprogramm in der Umgebung des im Rückbau befindlichen Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) geflogen und eine Städtemessung über der Stadt Rapperswil-Jona (SG) und den benachbarten Ortschaften Wolfhausen (ZH) und Rüti (ZH) durchgeführt. Am Dienstag fand eine Übung mit Quellensuche statt und unter Einbezug externer Partner wurde der Einsatz von Suchdrohnen getestet. Mitte Woche wurde im Rahmen des langjährigen Messprogrammes dichtbesiedelter Gebiete die Region südlich des Kernkraftwerks Gösgen (KKG) überflogen. Am Ende der Messwoche wurde das Standardmessprogramm der Umgebung des KKG geflogen und die Orte Landquart (GR) und Klosters (GR) vermessen. Zudem wurden über dem Berg Chrüz in der Bündner Region Prättigau-Davos ein messtechnisch interessanter Flug durchgeführt. Die Erkenntnisse daraus dienen der Verbesserung der Messstrategie in hochalpinem Gebiet.

### Die wichtigsten Ergebnisse der Übung Aeroradiometrie 2023:

1. Für alle Messgebiete konnten radiologische Messkarten erstellt werden, welche die normale Radioaktivität abbilden. Es wurden keine ungewöhnlichen Werte festgestellt.
2. Die Kontrollmessungen in Zusammenarbeit mit dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) in der Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen konnten durchgeführt werden. Es wurde keine gegenüber dem natürlichen Untergrund erhöhte Radioaktivität ausserhalb der Betriebsareale festgestellt. Im Vergleich mit den Messresultaten der Vorjahre wurden keine Veränderungen beobachtet.
3. Im Rahmen des Städtemessprogramms konnten die Referenzmessungen in Rapperswil-Jona, Landquart und Klosters vorgenommen werden.
4. Im Rahmen einer Feldübung wurde die Quellensuche trainiert. In Zusammenarbeit mit dem Labor Spiez, Armasuisse und der Firma Arktis Radiation Detectors Ltd konnte die kombinierte Suche mit der helikopterbasierten ARM und dem Einsatz von Suchdrohnen getestet werden.
5. Dank der Messflüge sowie der intensiven und gezielten Übungen am Boden konnte das Aeroradiometrie-Team Kenntnisse erweitern und festigen. Die Handhabung des Messsystems sowie die Auswertung am Boden erfolgen mit zunehmender Routine.
6. Der Ausbildungs- und Trainingsstand der Messspezialisten, Techniker und Piloten der Aeroradiometrie-Equipe ist hoch.

## **2 Übung Aeroradiometrie 2023**

Die diesjährigen Messflüge fanden vom 19. bis 23. Juni statt. Start- und Landebasis für die meisten Flüge war der Flugplatz Dübendorf, am Montag 19.06. wurde in Belp (BE) und am Dienstag 20.06. in Wangen an der Aare (BE) zwischengelandet.

### **2.1 Messflüge in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen**

Die Schweizer Kernanlagen werden im Auftrag des ENSI im Zweijahresrhythmus aeroradiometrisch untersucht. Turnusgemäss wurden dieses Jahr die Umgebungen der Kernkraftwerke Mühleberg (KKM) und Gösgen (KKG) vermessen.

### **2.2 Messflüge in der Grossumgebung der Schweizer Kernanlagen**

Nachdem in den letzten Jahren aeroradiometrische Daten der ganzen Notfallschutzzonen 2 (Radius ca. 20 km) der in Betrieb befindlichen Schweizer Kernkraftwerke gesammelt wurden, besteht ein mittelfristiges Ziel darin, über die Zone 2 hinaus den Bereich bis ca. 50 km Entfernung mit geringerer Auflösung (Fluglinienabstand 1 km) zu vermessen, um im Bedarfsfall Referenzwerte zur Verfügung zu haben. Nach den diesjährigen Messflügen sind jetzt südlich des KKG entsprechende Daten vorhanden, mit Ausnahme von zwei Fluglinien, die in einem späteren Jahr ergänzt werden.

### **2.3 Städtmessungen Rapperswil-Jona und benachbarte Ortschaften, Landquart und Klosters**

Seit mehreren Jahren verfolgt die NAZ ein Städtmessprogramm, in dessen Rahmen die grössten Schweizer Städte und Gemeinden überflogen werden, sowie ein Messprogramm dichtbesiedelter Gebiete und der Umgebung kritischer Infrastrukturen. Im Rahmen dieser Programme werden Nullmessungen vorsorglich erhoben für den Fall, dass nach einem Ereignis der Verdacht auf erhöhte Radioaktivität besteht und deswegen Messflüge durchgeführt werden. Durch den Vergleich der nach dem Ereignis erhobenen Messdaten mit der Referenzmessung können Abweichungen einfacher erkannt werden.

Mit der Vermessung von Rapperswil-Jona verfügt die NAZ inzwischen über Messkarten von 23 der 30 grössten Schweizer Gemeinden. Die Resultate aus Landquart und Klosters erweitern die vorhandenen Messwerte im Kanton Graubünden.

### **2.4 Messtechnisch interessanter Flug um den Berg «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR)**

Alpine Gebiete mit grossen Höhenunterschieden und starkem Gefälle stellen besondere Anforderungen an das messtechnische Vorgehen und die Beurteilung aeroradiometrischer Messdaten. Um im Ereignisfall Kontaminationen insbesondere von landwirtschaftlich genutzten Flächen wie Alpwiesen erkennen zu können, wurde die flugtechnische Machbarkeit einer angepassten Messstrategie getestet und deren Einfluss auf die Qualität der Messergebnisse überprüft.

### **2.5 Quellensuche und Feldübung mit Drohneneinsatz**

Zu den Messzielen der jährlichen Messkampagnen der NAZ gehören auch Übungen mit Partnern. Dieses Jahr wurde die Zusammenarbeit mit zwei Drohnenteams geübt. Das ARM-Team musste in einem grossen Gebiet eine gestohlene Quelle suchen und grob lokalisieren.

Nach einer Übergabe am Boden mussten die Drohnen-Teams die Position der Quelle bestimmen.

Das ARM-Auswertungsteam am Boden wurde auch vor Ort verschoben und musste innerhalb von 30 Minuten die Messresultate für die Übergabe an die Drohnen bereitstellen.

## **2.6 Allgemeine Ziele des Aeroradiometrie-Teams**

Folgende grundsätzlichen Ziele sollten in der Messwoche erreicht werden:

- Zeitgerechter Einbau und zeitgerechtes Erstellen der Einsatzbereitschaft des Messsystems.
- Training der für einen Einsatz notwendigen Kenntnisse bezüglich:
  - Vorbereitung eines Einsatzes
  - Ad-hoc Verschiebung des ARM-Auswertungsteams zum Einsatzort
  - Bedienung der Geräte im Einsatz
  - Auswertung und Interpretation der Resultate vor Ort
  - Training der Piloten für den Aeroradiometrie-Einsatz
- Training der Kommunikation zwischen Piloten und Messequipe (bspw. Instruktion der Piloten durch die Operatoren).
- Darstellung der Messresultate: Zusammenstellung und Interpretation der Resultate innert zwei Stunden nach dem Messflug.
- Verbesserung und Festigung der Kenntnisse für den Betrieb des durch die NAZ eingesetzten Aeroradiometrie-Systems.
- Überprüfung und Aktualisierung der Einsatzdokumentation.

## **2.7 Information der Bevölkerung, der Medien und der Behörden**

Aufgrund der Lärmemissionen des Messhelikopters wurde Wert auf eine umfassende Vorabinformation der Bevölkerung gelegt. Dazu wurden die Behörden aller betroffenen Schweizer Gemeinden sowie die Kantonspolizei der betroffenen Kantone schriftlich über die bevorstehenden Flüge orientiert und gebeten, bei allfälligen Fragen aus der Bevölkerung auf die NAZ zu verweisen.

In einer Medienmitteilung wurden am 13. Juni die Messflüge angekündigt. Partner und Behörden wurden vorab aktiv informiert. Während der Messwoche wurden täglich Informationsmeldungen über die [Alertswiss](#)-Kanäle des BABS abgesetzt und via Social Media begleitet. Der Flugplan wurde zudem auf der NAZ-Website aufgeschaltet.

Diverse Anfragen von Behörden, Medien und aus der Bevölkerung wurden vor und während der Messwoche beantwortet.

## **2.8 Wissenschaftlicher Bericht**

Das PSI wird voraussichtlich bis Ende Jahr einen detaillierten wissenschaftlichen Bericht publizieren.

## 2.9 Beteiligte Partnerorganisationen

Folgende Organisationen waren in die Vorbereitung und Durchführung der Übung «Aeroradiometrie 2023» involviert:

- Nationale Alarmzentrale (NAZ) und Stab Bundesrat NAZ
- Kompetenzzentrum ABC-KAMIR
- Schweizer Luftwaffe (LW)
- Labor Spiez (LS)
- Paul Scherrer Institut (PSI)
- Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)
- Armasuisse, Science and Technology
- Arktis Radiation Detectors Ltd
- ABC-Koordinatoren der Kantone AG, BE, FR, GR, LU, SG, SO und ZH

Die NAZ und das Aeroradiometrie-Team danken allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit.



### 3 Messresultate

#### 3.1 Standardmessprogramm um die Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen

Turnusgemäss wurden dieses Jahr die Kernkraftwerke Mühleberg (KKM) und Gösgen (KKG) aeroradiometrisch vermessen.

Das KKM wurde im Dezember 2019 abgeschaltet und der Leistungsbetrieb eingestellt. Der Rückbau des KKM ist noch nicht abgeschlossen, das Areal und die Umgebung werden weiterhin überwacht und die Notfallschutzzonen bestehen unverändert, entsprechend wurde auch das Standardmessprogramm wieder durchgeführt.

Das KKW Gösgen war während der ARM-Woche 2023 in Revision und daher heruntergefahren und vom Netz getrennt.

##### 3.1.1 KKW Mühleberg: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	19.06.2023, 13:11 – 15:41 h
Fluglinien:	28 Linien, Abstand 250 m
Flugdauer:	2 h 30 min
Fluggebiet:	ca. 84 km <sup>2</sup>
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

##### 3.1.2 KKW Mühleberg: Ortsdosisleistung

###### Ausserhalb des Betriebsareals des Kernkraftwerks Mühleberg:

Die Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in Abbildung 1 zeigt keine Auffälligkeiten ausserhalb des Betriebsareals des KKM. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen.

Deutlich sichtbar ist der Wohlensee mit tiefen Werten, aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch das Wasser.

Der Vergleich mit den Resultaten aus früheren Messungen in der Umgebung des KKM zeigte keine signifikanten Unterschiede.

###### Innerhalb des Betriebsareals:

Das Kernkraftwerk Mühleberg ist auf der Karte klar zu erkennen. Die erhöhte Ortsdosisleistung über dem Betriebsareal ist auf Material zurückzuführen, welches auf dem Betriebsareal sicher zwischengestapelt wird. Dieses Material enthält das Aktivierungsprodukt Cobalt-60 (<sup>60</sup>Co), welches von den Messgeräten der Aeroradiometrie identifiziert wurde. Die Ortsdosis am Perimeter des Betriebsareals wird laufend überwacht. Die entsprechenden gesetzlichen Grenzwerte werden eingehalten.

##### 3.1.3 KKW Mühleberg: MMGC-Verhältnis

In der Karte in Abbildung 2 wird das Verhältnis vom niederenergetischen zum hochenergetischen Anteil des Strahlenspektrums dargestellt. Weil die künstlich erzeugten Radioisotope meist nur  $\gamma$ -Strahlung niedriger Energie aussenden, entspricht dieses Verhältnis ungefähr demjenigen von künstlicher zu natürlicher Strahlung und wird als «Man made gross count (MMGC)» bezeichnet. Auf dem Betriebsareal des KKM wurde ein erhöhtes MMGC-Verhältnis festgestellt, das auf das oben erwähnte, <sup>60</sup>Co enthaltende Material zurückzuführen ist.

### KKW Mühleberg

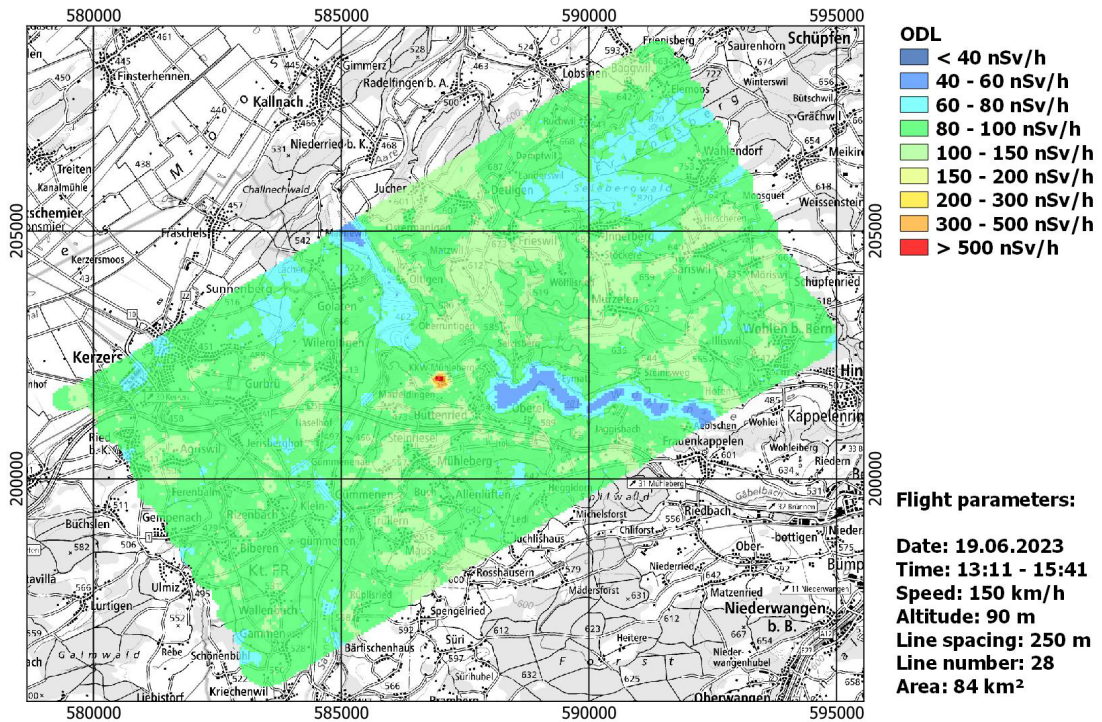


Abbildung 1: Karte der ODL in der Umgebung des KKM

### KKW Mühleberg

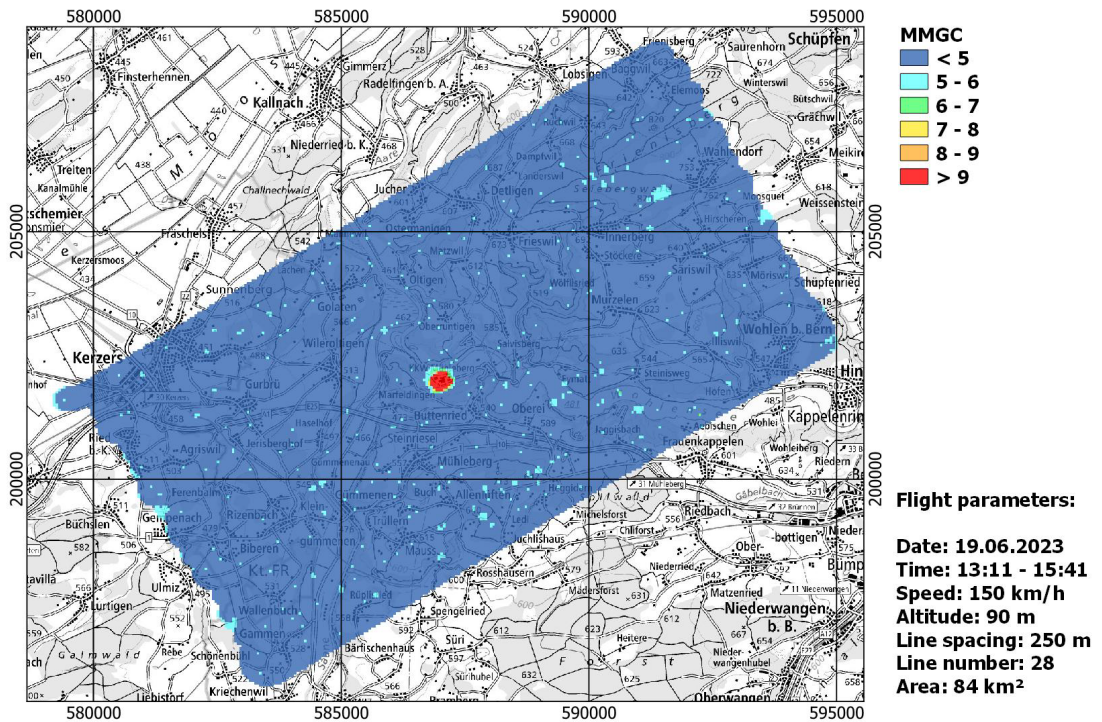


Abbildung 2: Karte des MMGC-Verhältnisses in der Umgebung des KKM



### 3.1.4 KKW Mühleberg: Cobalt $^{60}\text{Co}$

Die Karte der  $^{60}\text{Co}$ -Aktivität in Abbildung 3 und das über der Anlage registrierte Energiespektrum mit den typischen  $^{60}\text{Co}$ -Peaks bei 1173 keV und 1333 keV in Abbildung 4 bestätigen, dass die erhöhte ODL und das höhere MMGC-Verhältnis durch Cobalt bedingt sind.

Andere nuklidspezifische Karten enthalten keine Auffälligkeiten und werden daher im aktuellen Kurzbericht nicht dargestellt.

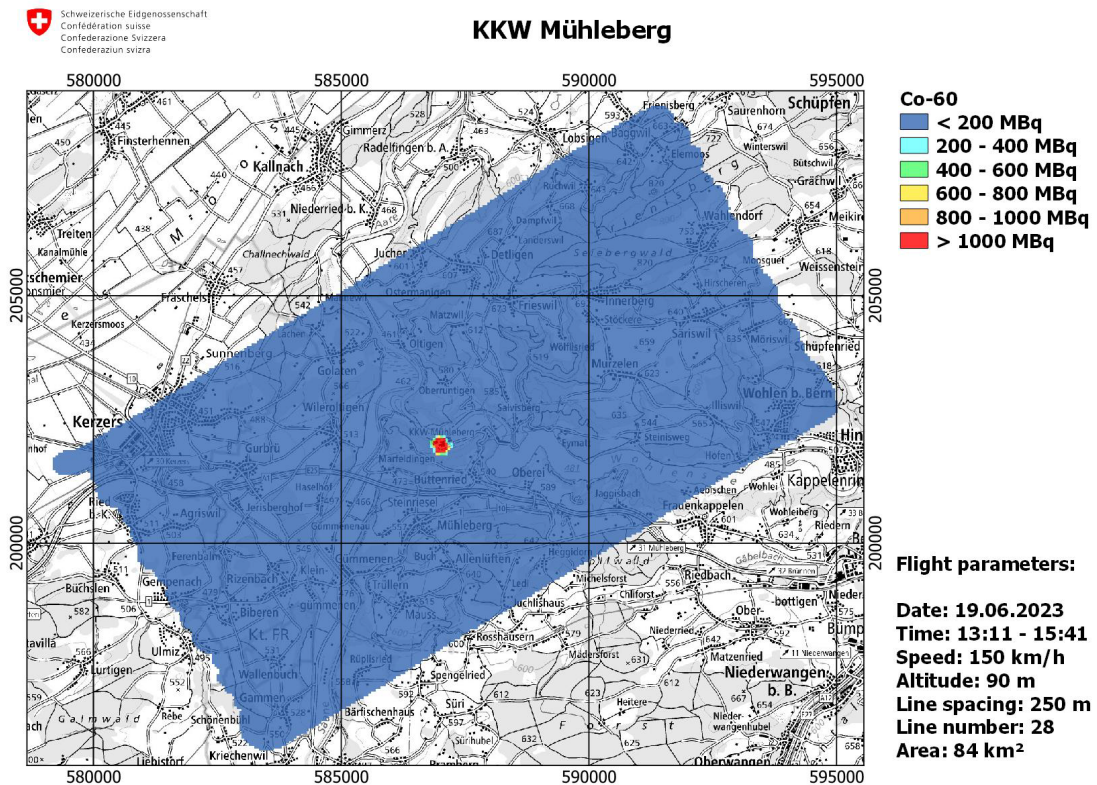


Abbildung 3:  $^{60}\text{Co}$ -Karte der Umgebung des KKM

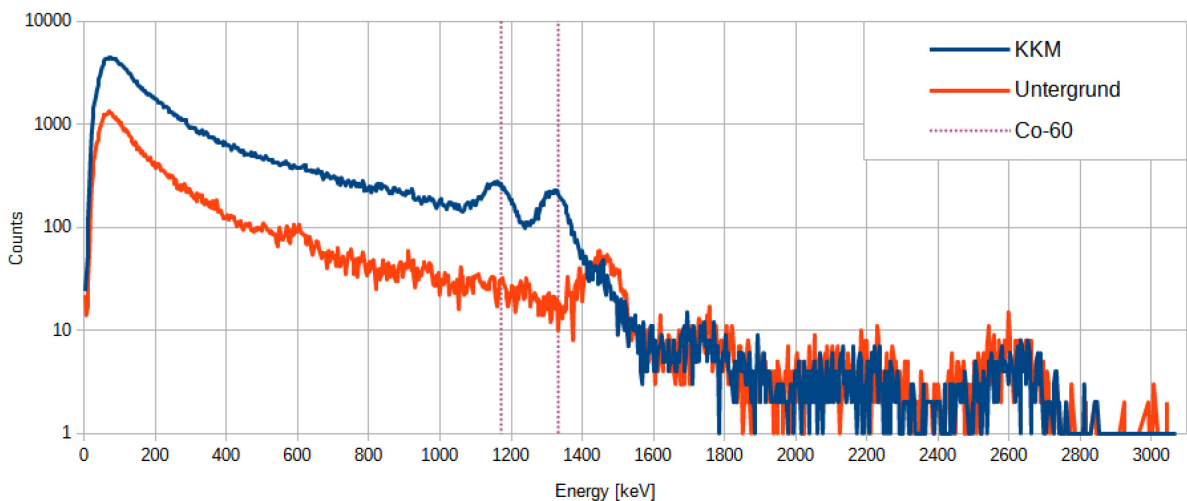


Abbildung 4: Energiespektrum, registriert über dem KKM, mit klar erkennbaren  $^{60}\text{Co}$ -Peaks bei 1173 keV und 1333 keV

### 3.1.5 KKW Gösgen: Angaben zum Messflug

Das Standardmessprogramm um das KKG wurde gegenüber den Vorjahren erweitert. Im Norden und Osten zählen neu der Ort Stüssingen (SO) und Teile der Gemeinden Erlinsbach (SO), Erlinsbach (AG), Aarau (AG) und Suhr (AG) zum Messgebiet, im Westen Trimbach (SO), ganz Olten (SO) und Wangen bei Olten (SO).

Datum / Zeit: 22.06.2023, 08:44 – 11:03 h

Fluglinien: 28 Linien, Abstand 250 m

Flugdauer: 2 h 19 min

Fluggebiet: ca. 93 km<sup>2</sup>

Flughöhe über Grund: ca. 90 m

### 3.1.6 KKW Gösgen: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in Abbildung 5 zeigt keine Auffälligkeiten ausserhalb der Betriebsareale des KKG. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen. Aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch das Wasser fallen die Messwerte direkt über der Aare niedriger aus.

Der Vergleich mit den Resultaten aus früheren Messungen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Gösgen zeigt keine signifikanten Unterschiede.

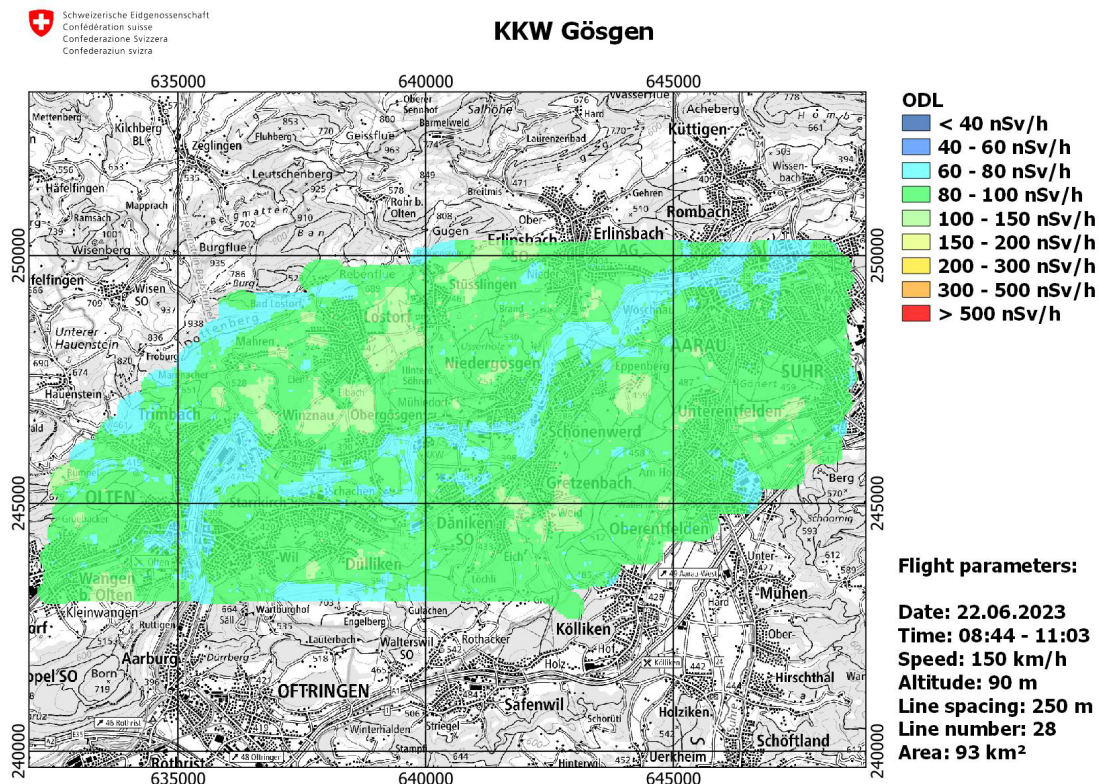


Abbildung 5: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in der Umgebung des KKG

### 3.1.7 KKW Gösgen: Kalium <sup>40</sup>K

Die Karte der <sup>40</sup>K-Aktivität in Abbildung 6 zeigt besonders tiefe Werte im Westen des Messgebietes, ungefähr zwischen Bad Lostorf und dem Ort Hauenstein in mehrheitlich nicht besiedeltem Gebiet. Auch in der ODL-Karte (Abbildung 5) waren in diesem Bereich eher niedrige Werte detektiert worden.

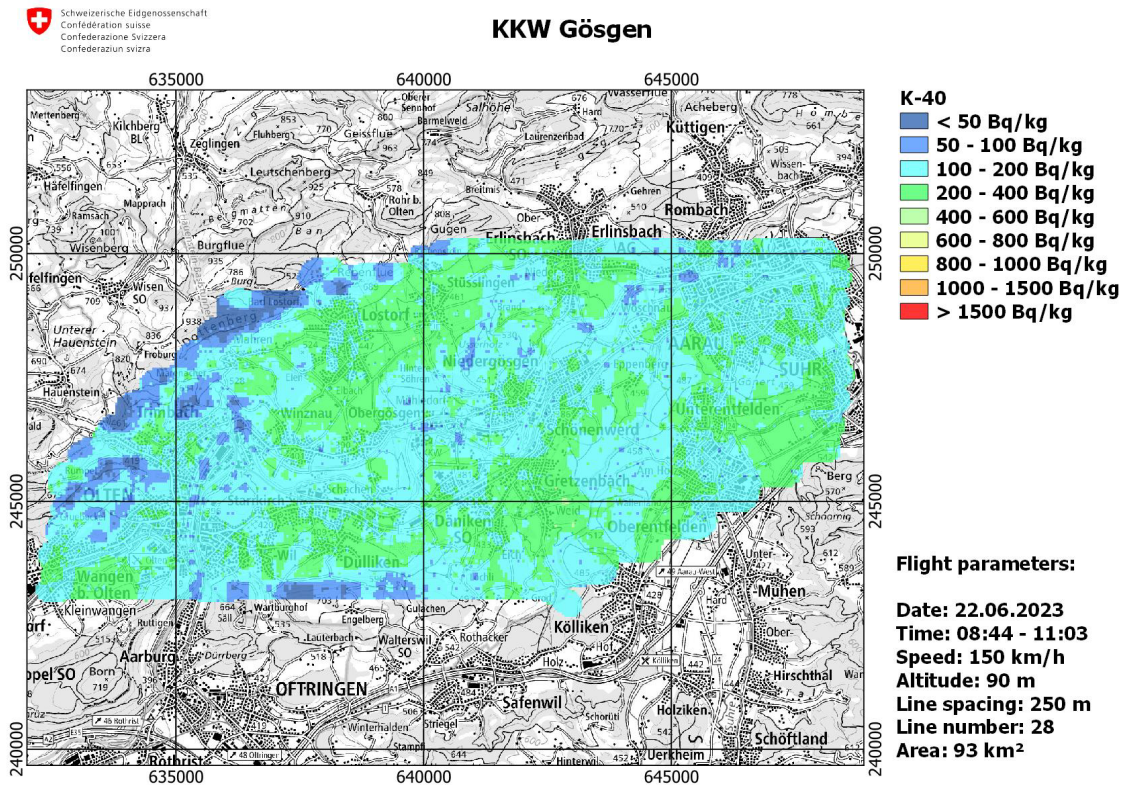


Abbildung 6: <sup>40</sup>K-Karte der Umgebung des KKG

### 3.2 Grossumgebung des KKW Gösgen in südlicher Richtung

Zusätzlich zum Standardmessprogramm besteht die Bestrebung, auch die weitere Umgebung des KKG mit weiterem Linienabstand und aus grösserer Flughöhe zu vermessen, um im Bedarfsfall Referenzwerte zur Verfügung zu haben. Im Jahr 2019 war die Notfallschutzzone 2 (bis ca. 20 km Entfernung vom KKG) vervollständigt und im Jahr 2021 ein Teilgebiet südöstlich des KKG bis zur Entfernung von ca. 50 km gemessen worden. Dieses Ziel wurde 2023 weiterverfolgt und ein Gebiet grob vermessen, welches durch die Orte Langenthal (BE), Sursee (LU), Kriens (LU) und Burgdorf (BE) aufgespannt wird.

Bedingt durch schlechtes Flugwetter im Norden wurde anders als geplant mit den südlichen Fluglinien des Messgebietes begonnen. Nach einer Wetteränderung im Laufe des Vormittags wurden dann nach dem Mittag die nördlichen Linien abgeflogen

Aufgrund knappen Treibstoffs musste die Messung nach 20 der vorgesehenen 23 Fluglinien frühzeitig beendet werden. Eine einzelne Linie wurde am Folgetag nach Abschluss des Standardmessprogramms KKG noch ergänzt, jedoch war auch dann der Treibstoff nicht ausreichend, um den ganzen Flug abzuschliessen. Es ist vorgesehen, die zwei fehlenden Linien in einem anderen Jahr zu ergänzen und den Messflug dann zu vervollständigen.

### 3.2.1 Messgebiet Grossumgebung südlich KKG: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	21.06.2023, 09:04 – 11:32 h, 13:40 – 16:14 h 22.06.2023, 11:14 – 11:29 h
Fluglinien:	21 Linien, Abstand 1'000 m
Flugdauer:	5 h 17 min
Fluggebiet:	ca. 1'000 km <sup>2</sup>
Flughöhe über Grund:	150 m

### 3.2.2 Messgebiet Grossumgebung südlich KKG: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung in Abbildung 7 zeigt überall normale Werte. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen.

Auch die Karten zu spezifischen Nukliden sowie zum MMGC enthalten keine Auffälligkeiten und werden daher im aktuellen Kurzbericht nicht dargestellt.

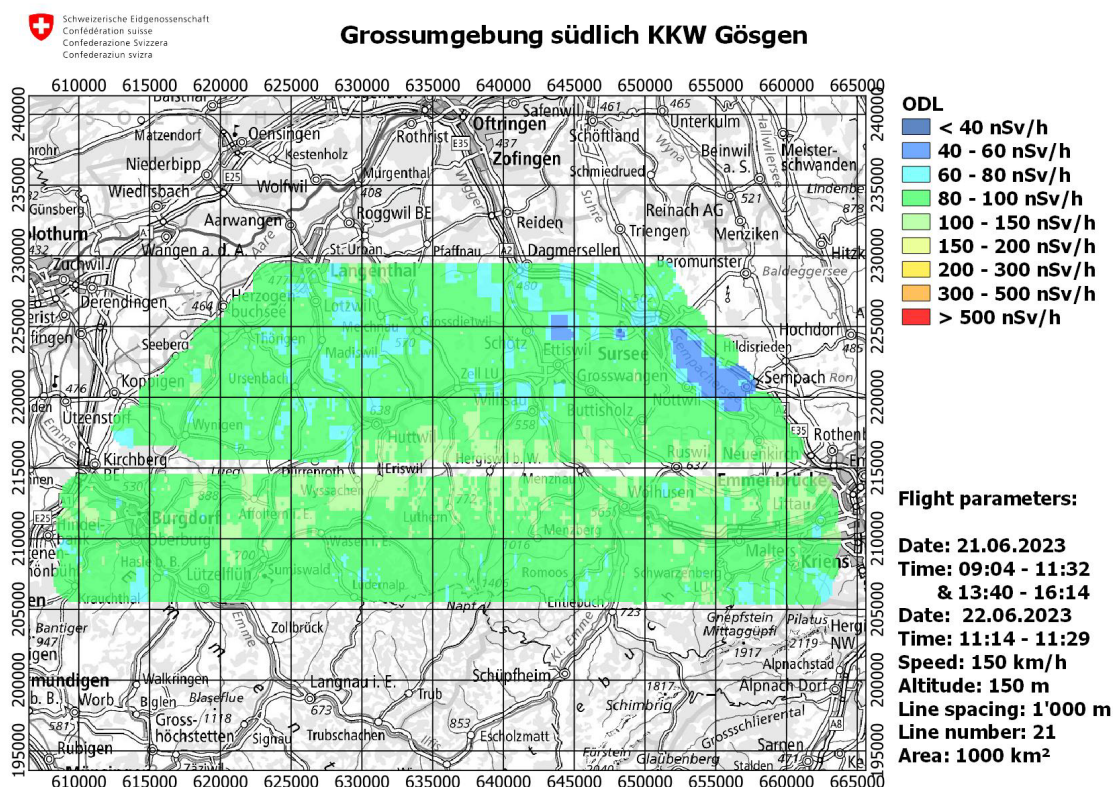


Abbildung 7: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in der Grossumgebung südlich des KKW Gösigen

### 3.3 Städtmessungen Rapperswil-Jona und benachbarte Ortschaften sowie Landquart und Klosters

Im Rahmen des langjährigen Städtmessprogramms wurde dieses Jahr die Stadt Rapperswil-Jona (SG) einschliesslich der benachbarten Ortschaften Wolfhausen (ZH) und Rüti (ZH) aeroradiometrisch vermessen. Rapperswil-Jona liegt auf Rang 29 der einwohnerstärksten Schweizer Gemeinden.

Ausserdem wurden die im Kanton Graubünden vorhandenen Messdaten erweitert um die Gemeinde Klosters und um einen Streifen im Churer Rheintal um Landquart, einschliesslich der Ortschaften Malans, Untervaz, Igis, Zizers und Trimmis.

### 3.3.1 Rapperswil-Jona und benachbarte Ortschaften: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit: 19.06.2023, 09:51 – 11:11 h  
 Fluglinien: 29 Linien, Abstand 250 m  
 Flugdauer: 1 h 20 min  
 Fluggebiet: ca. 50 km<sup>2</sup>  
 Flughöhe über Grund: 90 m

### 3.3.2 Rapperswil-Jona und benachbarte Ortschaften: Ortsdosisleistung

In Abbildung 8 ist die Karte der ODL von Rapperswil-Jona einschliesslich der benachbarten Ortschaften dargestellt. Die ODL-Werte im Messgebiet liegen im normalen Schwankungsbereich. Die beobachteten Variationen sind auf Einflüsse der Geologie, der Topographie, der Wasserläufe und der Vegetation zurückzuführen. Deutlich ist zu erkennen, dass über dem Zürichsee bzw. Obersee eine tiefere ODL detektiert wurde, da das Wasser den terrestrischen Anteil der natürlichen Strahlung mehrheitlich abschirmt.

Auch die Karten zu spezifischen Nukliden sowie zum MMGC enthalten keine Auffälligkeiten und werden daher im aktuellen Kurzbericht nicht dargestellt.

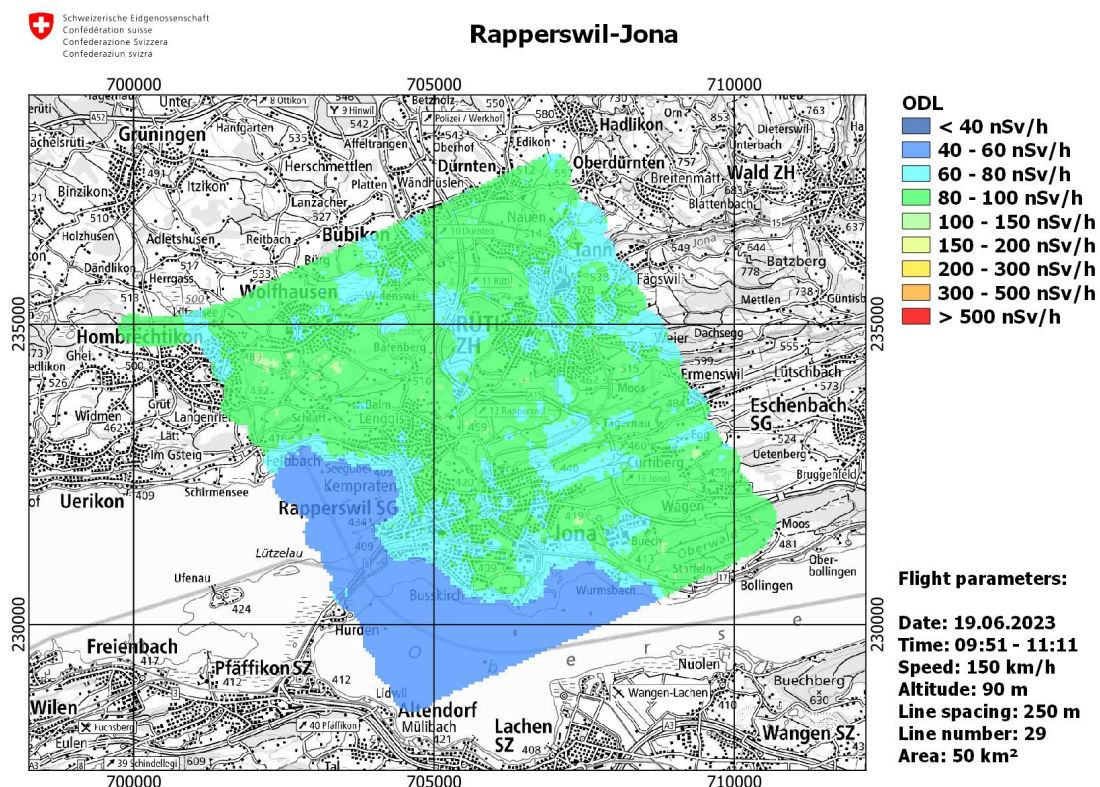


Abbildung 8: ODL der Städtemessung Rapperswil-Jona und benachbarte Ortschaften

### 3.3.1 Messgebiet Landquart: Angaben zum Messflug

Das Messgebiet besteht aus einem in Nord-Süd-Richtung gezogenen Streifen im Churer Rheintal um Landquart, einschliesslich der Ortschaften Malans, Untervaz, Igis, Zizers und Trimmis.

Datum / Zeit: 22.06.2023, 15:26 – 16:11 h

Fluglinien: 12 Linien, Abstand 250 m,

Flugdauer: 45 min

Fluggebiet: ca. 33 km<sup>2</sup>

Flughöhe über Grund: ca. 90 m

### 3.3.2 Messgebiet Landquart: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung in Abbildung 9 zeigt keine Auffälligkeiten. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind vor allem auf Einflüsse der Geologie, der alpinen Topographie, der Wasserläufe (Rhein und Landquart) sowie der Vegetation zurückzuführen.

Auch die Karten zu spezifischen Nukliden sowie zum MMGC enthalten keine Auffälligkeiten und werden daher im aktuellen Kurzbericht nicht dargestellt.

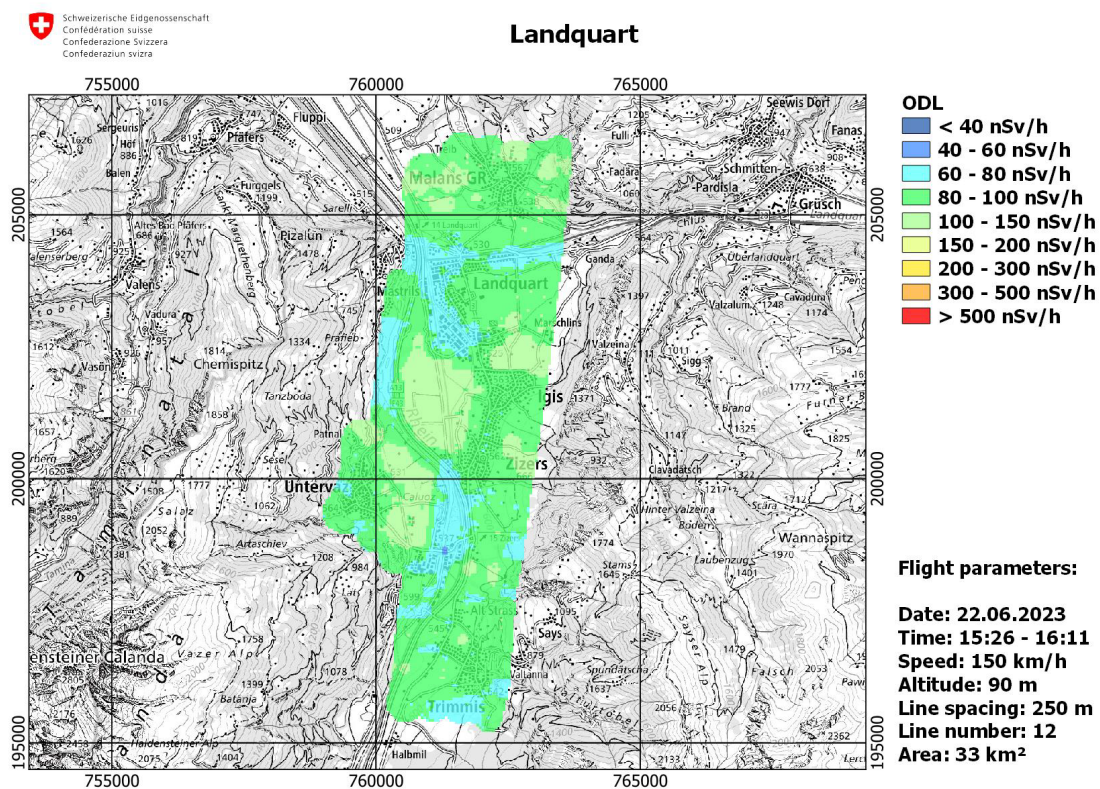


Abbildung 9: ODL des Messgebietes im Churer Rheintal um Landquart

### 3.3.3 Messung in Klosters: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit: 22.06.2023, 14:21 – 14:33 h  
Fluglinien: 7 Linien, Abstand 250 m  
Flugdauer: 12 min  
Fluggebiet: ca. 8 km<sup>2</sup>  
Flughöhe über Grund: ca. 90 m

### 3.3.4 Messung in Klosters: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung in Abbildung 10 zeigt keine Auffälligkeiten. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind vor allem auf Einflüsse der Geologie, der alpinen Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen.

Auch die Karten zu spezifischen Nukliden sowie zum MMGC enthalten keine Auffälligkeiten und werden daher im aktuellen Kurzbericht nicht dargestellt.

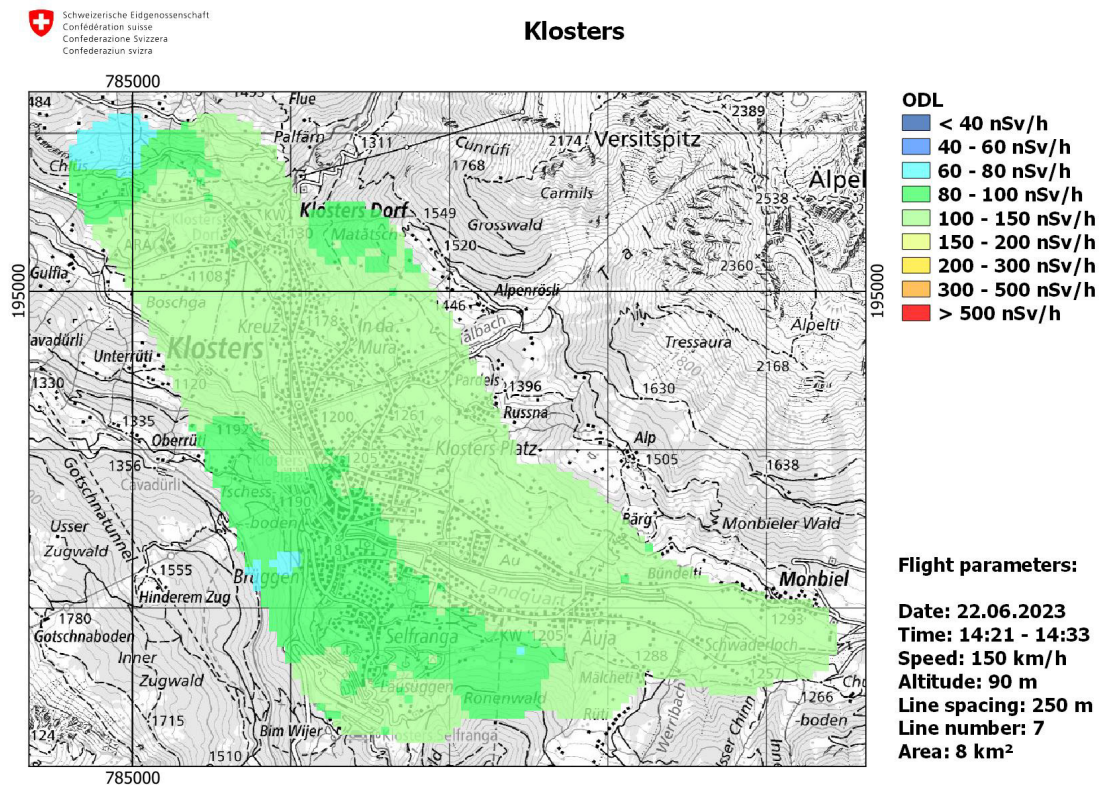


Abbildung 10: ODL in Klosters

### 3.4 Messtechnisch interessanter Flug um den Berg «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR)

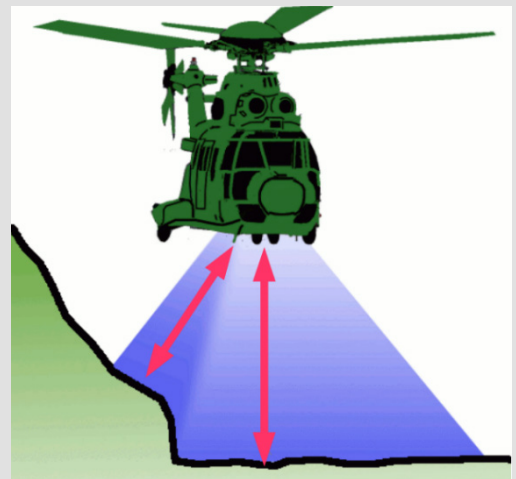
Alpine Gebiete mit grossen Höhenunterschieden und starkem Gefälle stellen besondere Anforderungen an das messtechnische Vorgehen und die Beurteilung aeroradiometrischer Messdaten. Um im Ereignisfall Kontaminationen insbesondere von landwirtschaftlich genutzten Flächen wie Alpwiesen erkennen zu können, wurde die flugtechnische Machbarkeit einer angepassten Messstrategie getestet und deren Einfluss auf die Qualität der Messergebnisse überprüft.

Um abrupte Höhenänderungen zu reduzieren, wurde versucht in der alpinen Region nicht die Flughöhe über Boden möglichst konstant zu halten, sondern sich an der Höhe über Meer auszurichten. Dieses Vorgehen bewährte sich nicht, weil die daraus resultierenden Schwankungen des Abstandes zum Boden sich nachteilig auf die Qualität der Messwerte auswirkten.

Die Idee der schliesslich definierten Messstrategie ist es, bestmöglich dem Verlauf der Höhenlinien zu folgen. Dieses Vorgehen lässt sich im manuellen Flug gut umsetzen. Sowohl abrupte Höhenänderungen lassen sich reduzieren als auch der Abstand zum Boden kann bestmöglich konstant gehalten werden. Zudem beschränkt sich der Einfluss des Topographieeffektes auf seitliches Gefälle, da in Flugrichtung kaum Gefälle zu erwarten ist, wenn der Höhenlinie gefolgt wird.

#### Erklärung: Topographieeffekt

Berghänge haben einen Einfluss auf das Messsignal, da steil aufragende Bergflanken im Vergleich zum Talboden näher am Messgerät liegen. Dadurch kommt es zu Fehlinterpretationen der Auswertesoftware, welche die berechneten Werte für die Ortsdosisleistung sowie die Radionuklidkonzentrationen überschätzen.



#### 3.4.1 «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR): Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	22.06.2023, 14:38 – 15:22 h
Fluglinien:	manueller Flug ohne vordefinierte Linien
Flugdauer:	44 min
Flugstrecke/-gebiet:	92 km, ca. 40 km <sup>2</sup>
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

#### 3.4.2 «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR): Ortsdosisleistung

Der Flug wurde manuell geflogen, d.h. es wurde nicht vorprogrammierten Fluglinien gefolgt. Die Fluglinie ist als schwarze Linie in der Karte in Abbildung 11 eingezeichnet. Der Flug wurde nahe Küblis begonnen. Es wurde zunächst gegen den Uhrzeigersinn ungefähr der Höhenlinie gefolgt, dann in eine langsam ansteigende, enger werdende Spirale übergegangen. Nach



Erreichen der Spiralmitte wurde gewendet, anschliessend das Buchner Tobel überflogen und schliesslich das Messgebiet in Richtung Westen verlassen und damit die Messung abgeschlossen.

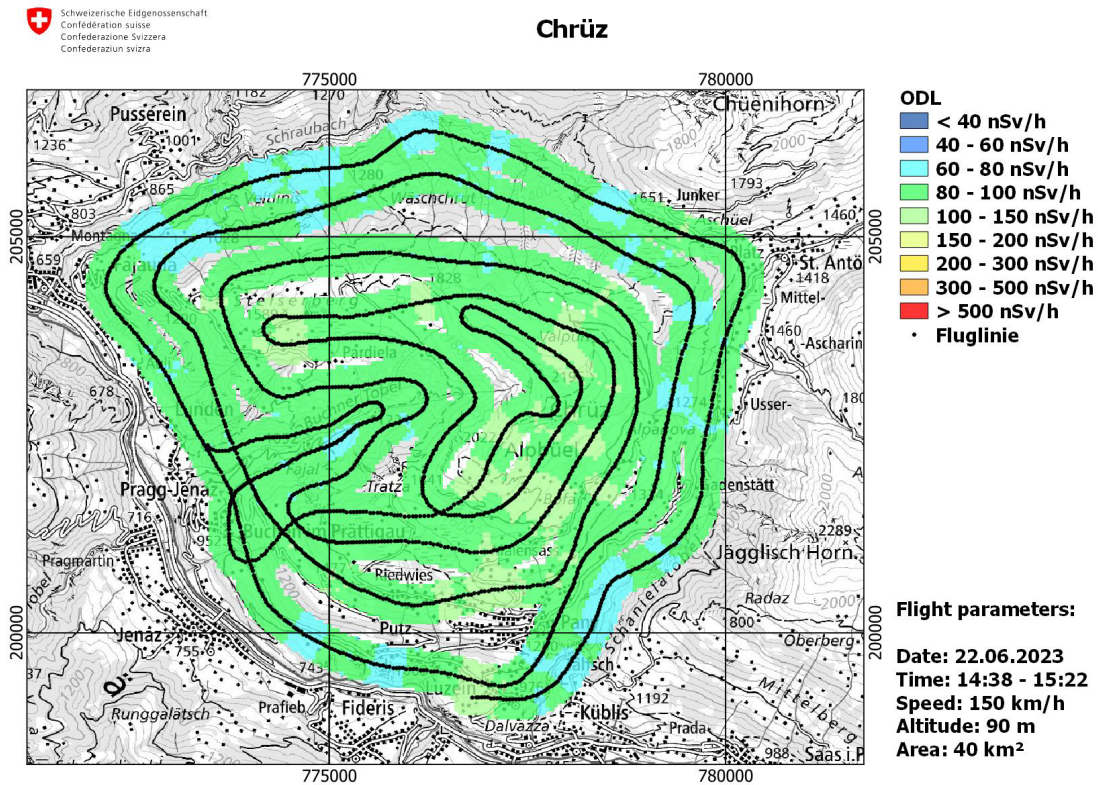


Abbildung 11: Fluglinie und ODL um den Berg «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR)

### 3.4.3 «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR): Kalium 40K

Die Karte der <sup>40</sup>K-Aktivität in Abbildung 12 zeigt keine grossen Auffälligkeiten. Eine teilweise Korrelation der <sup>40</sup>K-Werten mit der ODL (Abbildung 11) lässt sich erahnen. Das Vorgehen mit einer einzigen verschlungenen Fluglinie erlaubt die Erstellung einer guten Übersichtskarte und erweist sich als geeignet für die Messung alpiner Gebiete.

## Chrüz

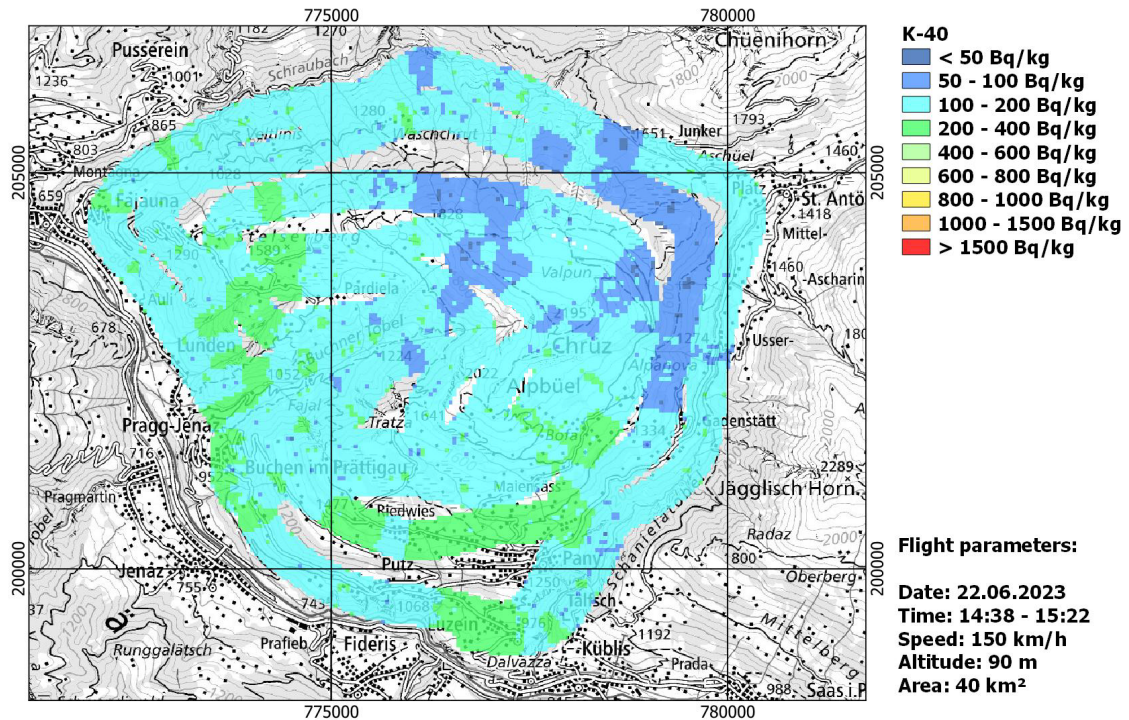


Abbildung 12: <sup>40</sup>K-Karte um den Berg «Chrüz» im Gebiet Prättigau-Davos (GR)

### 3.5 Quellensuche und Feldübung mit Drohneneinsatz

Ein anderes wichtiges Ziel der jährlichen ARM-Messkampagne ist das Training der Zusammenarbeit mit Partnern ausserhalb der NAZ.

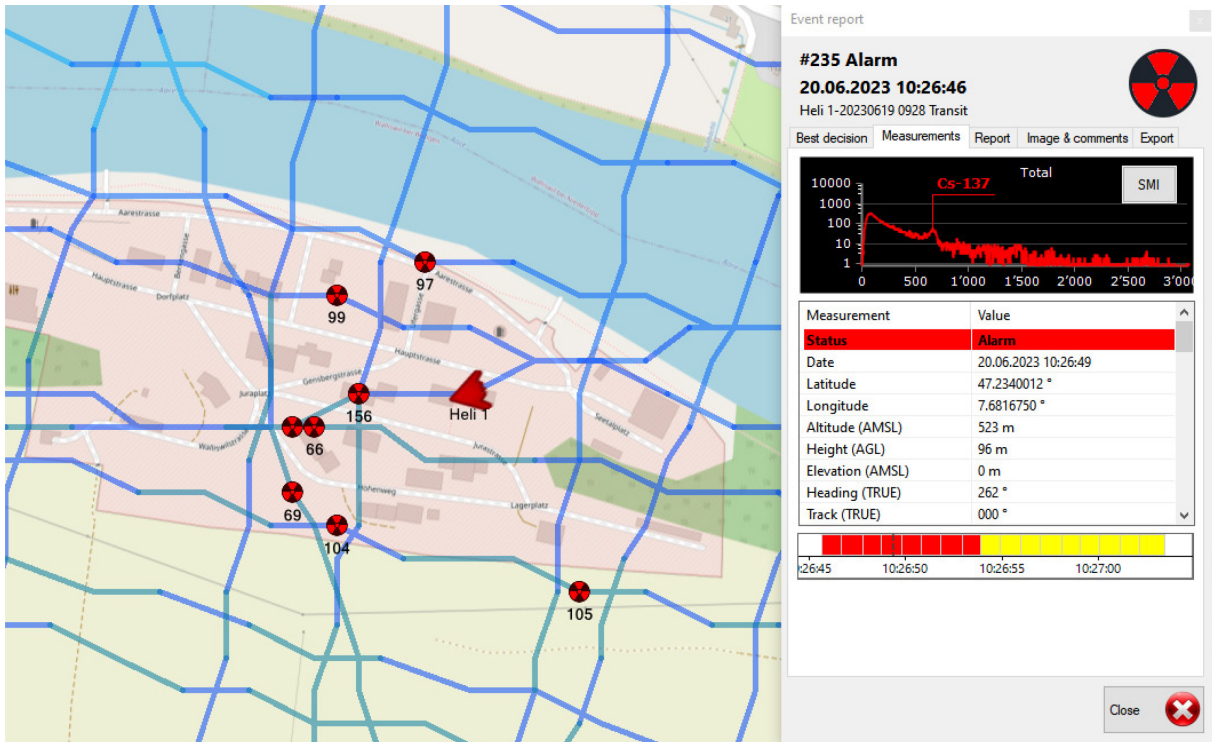
Am Dienstag 20. Juni fand im Übungsdorf in Wangen an der Aare eine koordinierte Übung statt, an welcher für die grobe Lokalisierung das ARM-Team der NAZ mit dem Super Puma und für die kleinräumige Suche zwei Teams mit Drohnen teilnahmen.

Die Ziele der Übung für alle drei Teams waren die Planung der Mission, Training und Optimierung geeigneter Suchstrategien, das Üben der teamübergreifenden Zusammenarbeit und ein Gewinn an Erfahrung in der Anwendung der Messmittel (Briefing, Instruktion, Verteilung von Aufgaben). Zudem wurden die Auswertungsprozeduren unter Zeitdruck getestet und trainiert.

Um 08:00 Uhr erfolgte eine Meldung an das ARM-Team der NAZ über den Diebstahl einer radioaktiven Quelle im Raum Bern und der Auftrag, die Quelle zu suchen, enthaltene Radionuklide zu identifizieren und die Aktivität der Quelle abzuschätzen.

Nach den notwendigen Absprachen, Klärungen und Vorbereitungen folgte der Start des Helikopters um 09:00 Uhr ab dem Flugplatz Dübendorf.

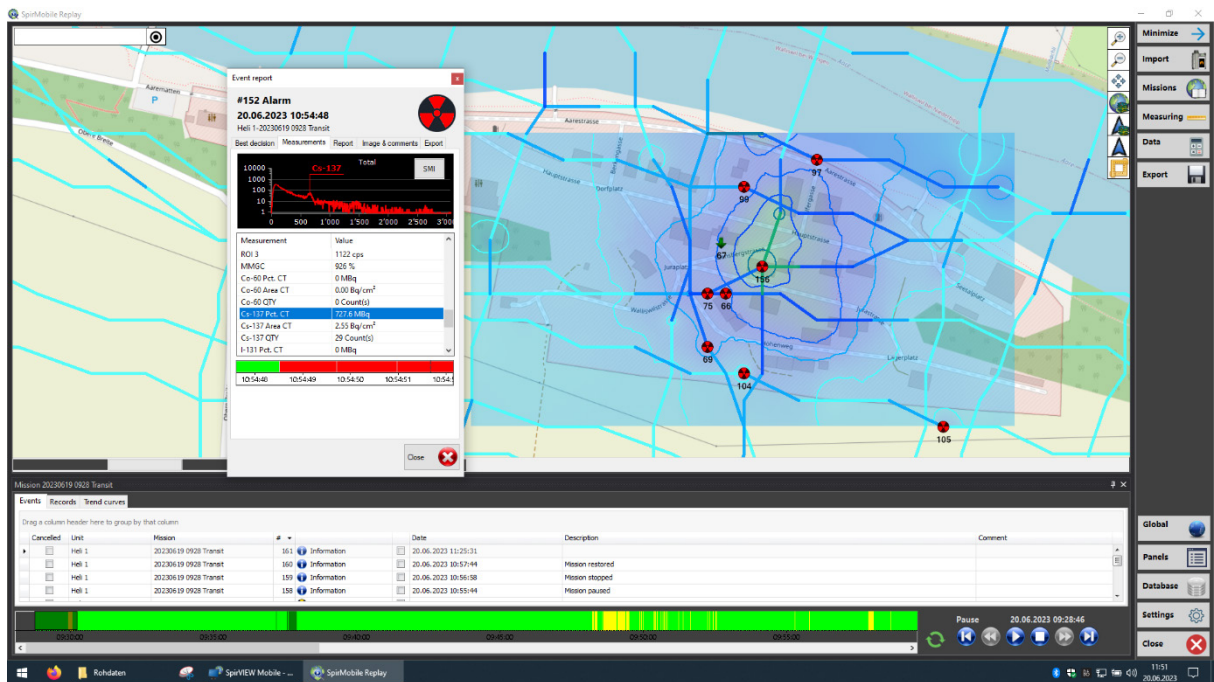
Während der Mission wurden im Rhythmus von ca. 10-15 Minuten neun Updates übermittelt mit Details zu vermuteten Standorten des gesuchten Fahrzeugs, zu übungsbedingt angenommenen Verkehrsverhältnissen und zu einem Teil der gesuchten Radionuklide. Dies ermöglichte dem ARM-Team, das Suchgebiet nach und nach einzugrenzen. Um 10:23 Uhr wurde das Übungsdorf in Wangen an der Aare überflogen, dort zum ersten Mal eine erhöhte Aktivität gemessen und das Radionuklid Cs-137 identifiziert.



*Helikopter: Screenshot aus der ARM-Messsoftware nach mehrfachem Überflug des Übungsdorfes in Wangen an der Aare, mit blau eingezeichneten Fluglinien. Der Zickzack-Verlauf ergibt sich aufgrund der Normierung der Koordinaten auf das der Messsoftware zugrundeliegende hexagonale Gitter. Die rot gefärbten Radioaktivitäts-Symbole kennzeichnen die Punkte, an denen sich der Helikopter bei mehreren Überflügen befand, als die Messsoftware aufgrund der detektierten Radioaktivität Alarme ausgab. Die örtliche Streuung dieser Alarmpunkte illustriert die Limitierung des ARM-Messsystems aufgrund von Linienabstand und Fluggeschwindigkeit. Im ebenfalls enthaltenen Energiespektrum ist ein Peak bei 662 keV ein deutlicher Hinweis auf eine <sup>137</sup>Cs Quelle.*

Das Gebiet wurde mehrmals überflogen, um die Quelle besser zu lokalisieren und identifizieren. Nach der Landung um 11:00 Uhr wurden die Messresultate vom Bodenteam innert 30 Minuten analysiert und für das Briefing mit zwei Drohenteams vorbereitet.

Folgende Karte wurde am Briefing gezeigt:



Helikopter: MMGC-Karte mit Isolinen

Quellenabschätzung des ARM-Teams:

- Cs-137 727 MBq

Aufgrund dieser Resultate haben zwei Drohnenteams ihre Planung gemacht.

Folgende Drohnen wurden für die Übung eingesetzt:

- Drohne des Schweizer Drohnen- und Robotik-Zentrum (SDRZ) des VBS von armasuisse Wissenschaft + Technologie und Natrium-Iodid-Detektor vom Labor Spiez (LS) (rechts im Bild)
- Drohne mit Plastikszintillator-Detektor von der Firma Arktis Radiation Detectors Ltd (links im Bild)



Erst am Nachmittag wurde eine zusätzliche Quelle von der Übungsleitung platziert, nämlich eine Ba-133-Quelle.

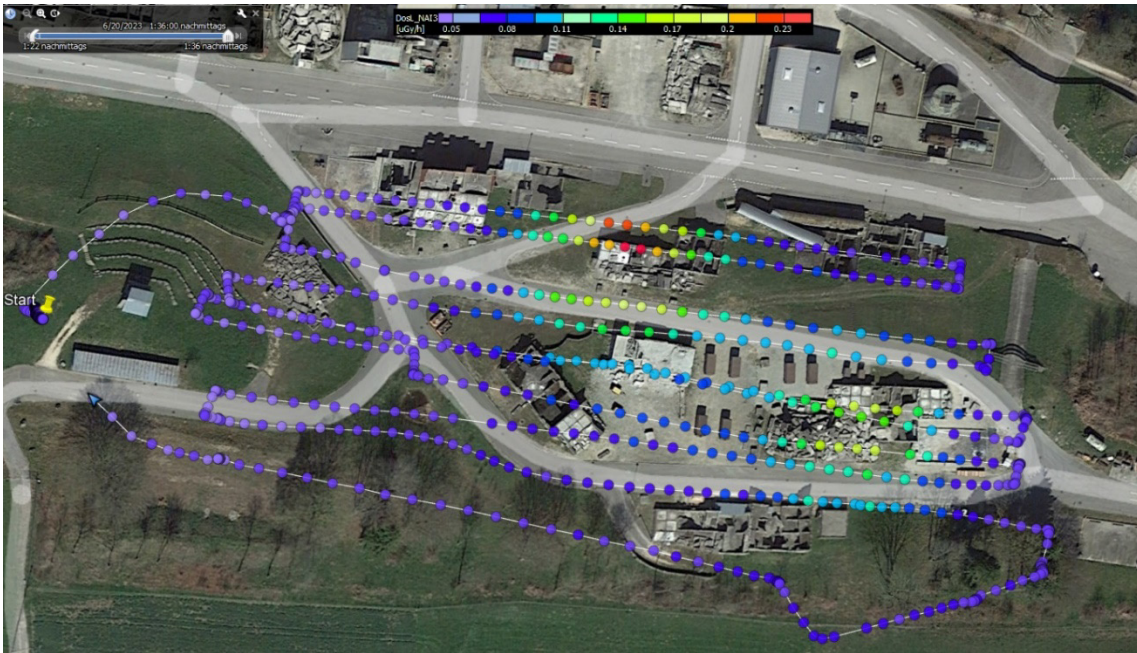
Das ARM-Team hat das Gebiet drei Mal überflogen und in der Nachbearbeitung wurde die Ba-133 Quelle auch identifiziert.

Es werden einige Impressionen von den Resultaten der beiden Drohnenteams im aktuellen Bericht geteilt.

### Drohnenteam SDRZ + LS:

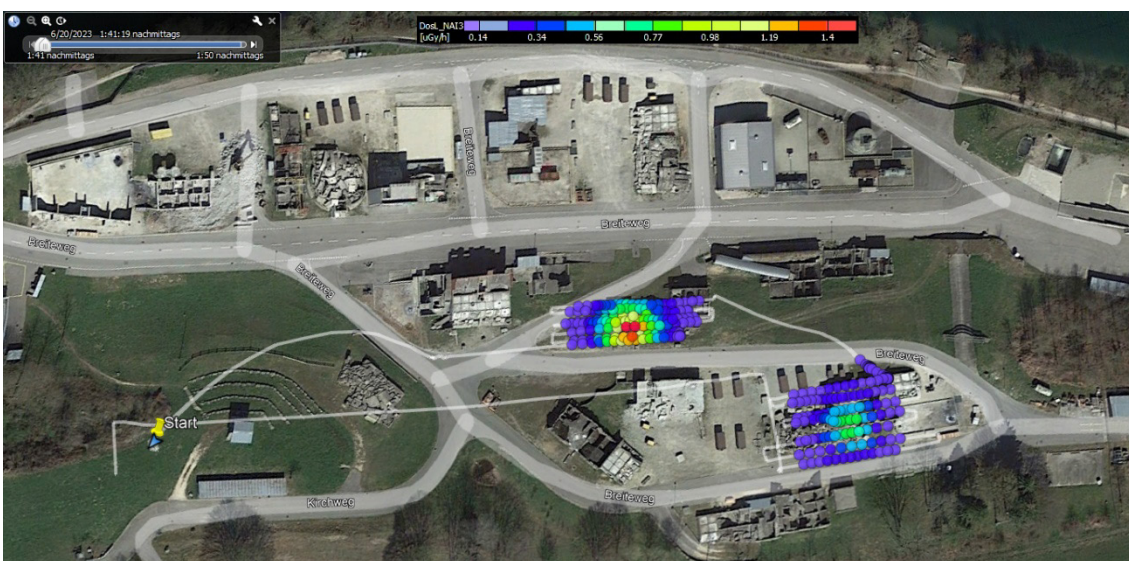
Während der Übung wurde dieses System und das Zusammenspiel zwischen Drohnenoperatoren vom SDRZ und Messoperatoren vom LS erfolgreich getestet und eingesetzt.

Nachdem die Drohne den Detektor in Bahnen über das vordefinierte Zielgebiet geflogen hat, konnten im Rahmen der Datenauswerte zwei Quellen ausfindig gemacht werden.

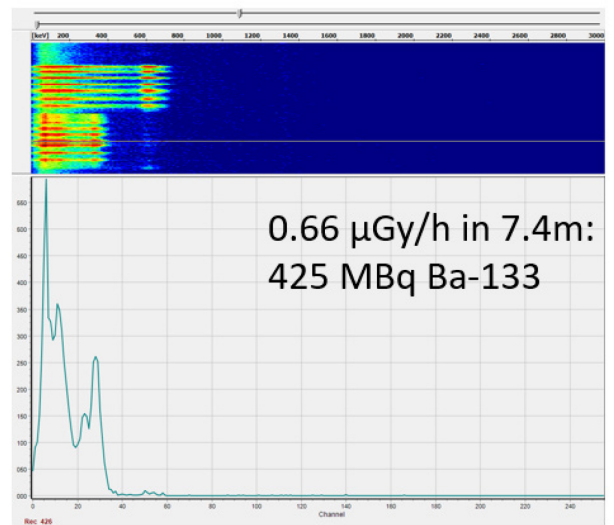
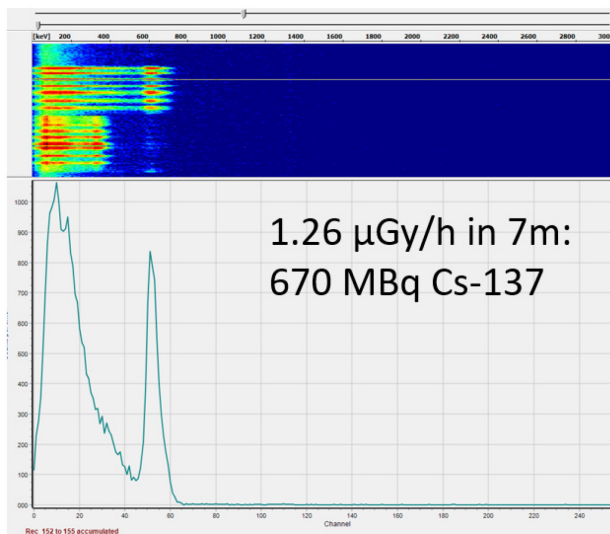


Dosisleistungskarte des ersten Messflugs - Grobmessung (Quelle: Labor Spiez)

In einem zweiten Flug wurden die Messungen verfeinert, um genauere Aussagen zur Strahlungsintensität sowie der Art der Quelle machen zu können. Dies erlaubte auch eine sehr genaue Lokalisierung der detektierten Quellen.



Dosisleistungskarte der zweiten Messflug - Feinmessung (Quelle: Labor Spiez)



*Spektren der zwei Hotspots, NaI-Detektor (Quelle: Labor Spiez)*

Quelleabschätzung des Drohnenteam SDRZ+LS:

- Cs-137 670 MBq
- Ba-133 425 MBq

## Drohenteam Arktis:

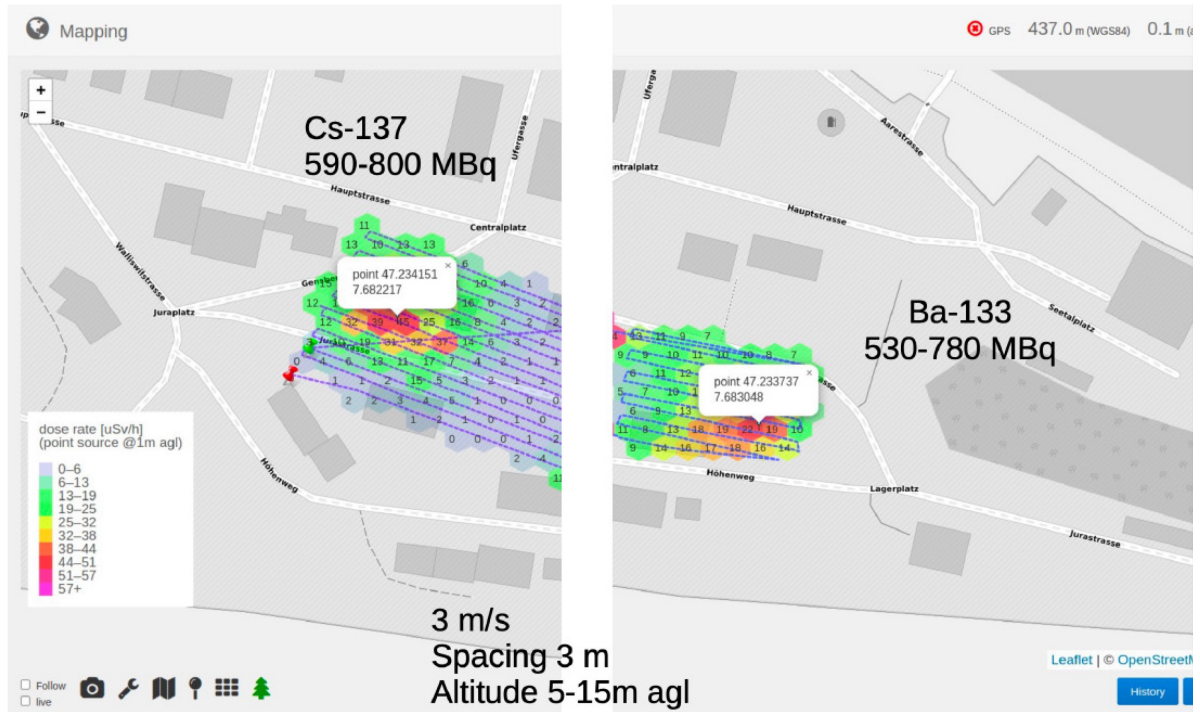
Das Arktis-Drohenteam hat das gleiche Verfahren angewendet.

Abgebildet sind die Resultate des ersten Messflugs. Auch in diesem Fall wurden zwei Hotspots erkannt.

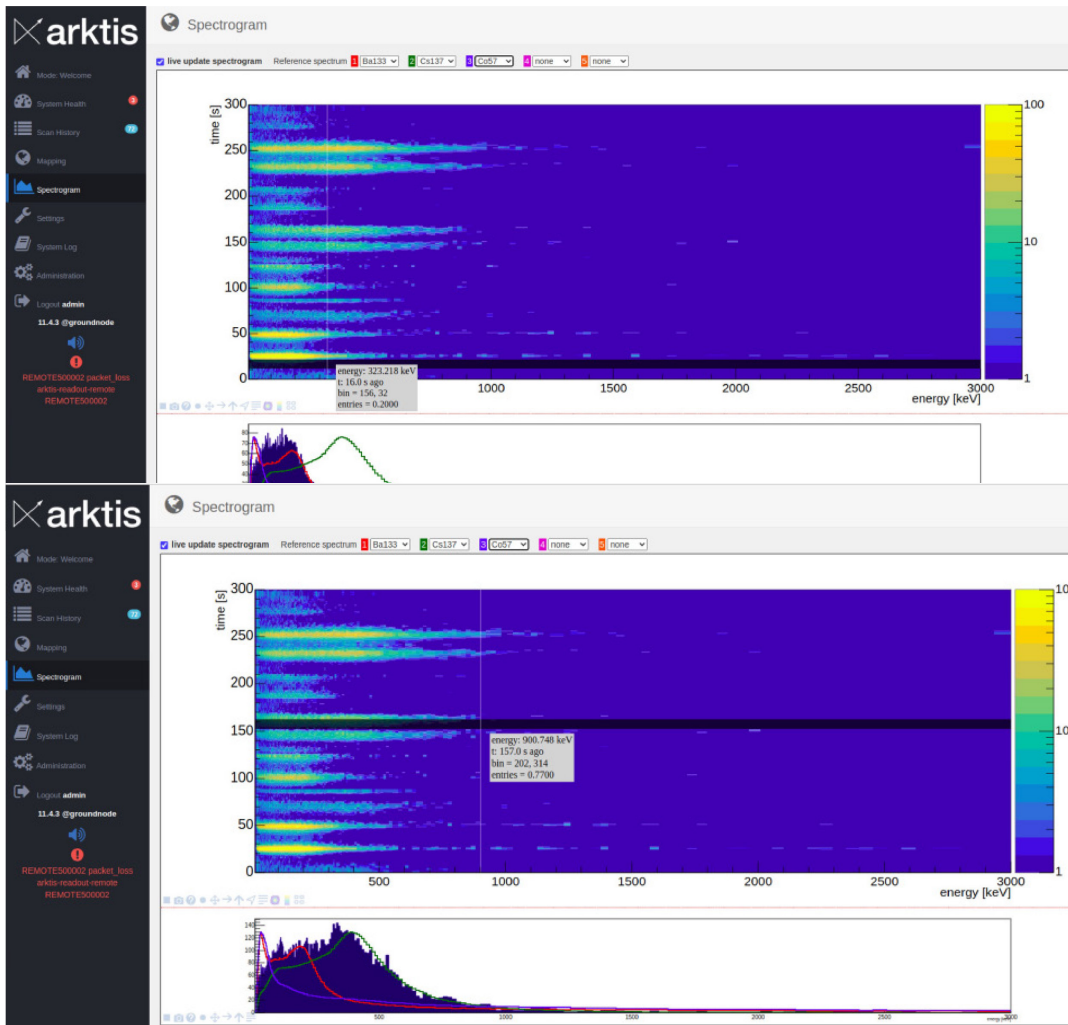


Karte des ersten Messflugs - Grobmessung (Quelle: Arktis)

Beim zweiten Messflug konnten die Quellen identifiziert werden.



Karte des zweiten Messflüge - Feinmessung (Quelle: Arktis)



### Spektren der zwei Hotspots, NaI-Detektor (Quelle: Arktis)

Quelleabschätzung des Drohnenteams Arktis:

- Cs-137 580-800 MBq
- Ba-133 530-780 MBq

Die Übungsleitung hatte auf dem Gelände insgesamt drei Quellen angebracht:

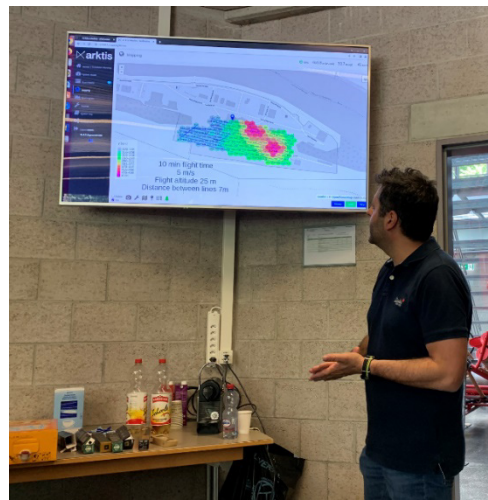
- Quelle 1: Cs-137 mit einer Aktivität von 751 MBq
- Quelle 2: Ba-133 mit einer Aktivität von 442 MBq
- Quelle 3: Cs-137 mit einer Aktivität von 16.2 MBq

Die Quelle 3 wurde zusammen mit der Quelle 2 platziert und wurde von keinem Team detektiert. Einerseits war diese Quelle deutlich schwächer als die anderen beiden (deutlich unter dem Nachweis für das ARM-System in der Höhe und an der Grenze für die Drohnenteams), andererseits wurde sie von den der Ba-Quelle überschattet.

Die zwei Messtechniken ergänzen sich sehr gut. Mit dem Super Puma kann in kurzer Zeit ein Gesamtbild der radioologischen Lage erstellt und die radiologisch gefährlichen Gebiete identifiziert werden. Mittels der Drohne können zusätzliche, räumlich-aufgelöste



radiologische Informationen erhoben werden. All diese Informationen helfen den Einsatz der Bodenequipen optimal zu planen (zum Beispiel im Falle einer Bergung von Quellen).



#### 4 Erkenntnisse

- Die Ziele der Aeroradiometrie-Messwoche 2023 wurden erreicht. Die geplanten Messgebiete wurden erfolgreich und mehrheitlich wie vorgesehen vermessen. Wegen der teilweise ungünstigen Wetterlage und knappen Zeit konnte das Messgebiet Grossumgebung südlich des KKG nicht vollständig abgeflogen werden. Die zwei fehlenden Linien werden in einem anderen Jahr ergänzt.
- Die Quellensuchübung wurde zum ersten Mal in einem derart grossen Gebiet trainiert. Die Operatoren mussten – teilweise zusammen mit den Piloten – Input vom Boden in Echtzeit interpretieren, die Situation evaluieren und einen entsprechenden zugehörigen Plan entwickeln. Die Kommunikation zwischen Bodencrew-Operatoren und Operatoren-Piloten wurde intensiv trainiert und Optimierungen vorgenommen.
- Um ein Gebirge auszumessen, wurde das Vorgehen erprobt, dies mithilfe einer Spirale anstatt eines klassischen Rasters zu tun. Die neue Messtrategie hat sich in erster Linie bewährt. Um die Spirale am effizientesten abzufliegen, bietet sich das Verfolgen von Höhenlinien an, oder das Definieren einer horizontalen Distanz zwischen den Spiralarmlen.
- Die Checkprozeduren für die Schnellerkennung und Behebung von Problemen wurden definiert und durch Übung am Boden und im Helikopter gefestigt.
- Mit Unterstützung des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR konnten weitere wichtige Erfahrungen und Erkenntnisse gesammelt werden. So wurden die Prozeduren rund um das ARM- System optimiert, wie bspw. die Darstellung von Aktivitätshotspots.
- Die Prozesse für die Darstellung der Messresultate wurden überprüft, trainiert und optimiert.
- Wie es sich in den letzten Jahren bewährt hat, wurde die zweite Konsole im Hangar aufgestellt. Dies erlaubte den Operateuren am Boden zu üben und weitere Funktionen des Systems kennenzulernen.
- Der Ausbildungs- und Trainingsstand der Messspezialisten, Techniker und Piloten der Aeroradiometrie-Equipe ist hoch.

## Anhang A: Aeroradiometrie allgemein

### Wie funktioniert die Aeroradiometrie?

Eine ausführliche Beschreibung des Messverfahrens und der eingesetzten Ausrüstung findet sich in diesem [Factsheet](#).

### Auswertung aeroradiometrischer Daten

Das Auswerteverfahren für aeroradiometrische Daten ist beschrieben in: SCHWARZ, G.F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie (Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr. 23, Schweizerische Geophysikalische Kommission).

Für die Praxis wird oft eine einfache Methode benötigt, um die aeroradiometrisch gemessenen Werte direkt im Feld auswerten zu können. Dafür haben sich zwei Methoden bewährt:

1. MMGC-Ratio: Dabei wird das Verhältnis vom tieferenergetischen zum hochenergetischen Anteil des Spektrums gebildet. Weil die künstlich erzeugten Radioisotope meist nur  $\gamma$ -Strahlung niedriger Energie aussenden, entspricht dieses Verhältnis ungefähr dem Verhältnis von künstlicher zu natürlicher Strahlung.
2. Abschätzung der Ortsdosisleistung: Die Summe der Produkte von Zählrate und Kanalenergie über alle Kanäle des Energiespektrums ist proportional zur Dosisleistung am Ort des Detektors. Von dieser Dosisleistung wird der Detektoruntergrund (ca. 2 nSv/h) und die Dosisleistung aus der kosmischen Strahlung (gemessen über einen speziellen Zählkanal für hochenergetische Photonen) abgezogen, was die terrestrische Dosisleistung am Ort des Detektors ergibt. Über eine exponentielle Korrektur von der Flughöhe auf einen Meter über Grund wird anschliessend die terrestrische Ortsdosisleistung berechnet. Die Abschätzung der gesamten Ortsdosisleistung erfolgt durch Addition der kosmischen Dosisleistung in einem Meter über Grund, welche über die kosmische Höhenformel berechnet wird.

Bei der Interpretation von aeroradiometrischen Karten ist zu beachten, dass die Messungen aus der Luft immer einen Mittelwert über ein Gebiet von 300 m x 300 m (90'000 m<sup>2</sup>) für eine Flughöhe von 90 m über Boden darstellen. Zum Vergleich: Bodenmessungen decken nur eine Fläche von rund 80 m<sup>2</sup> ab.

### Messergebnisse in der Umgebung der Kernanlagen

Mit Ausnahme der KKW Beznau und Gösgen (Druckwasserreaktoren) können sämtliche schweizerischen Kernanlagen mit aeroradiometrischen Messungen anhand ihrer Direktstrahlung nachgewiesen werden. Das Strahlungsfeld beschränkt sich auf die Areale der Kernanlagen. In der Umgebung ist keine erhöhte künstliche Radioaktivität nachweisbar.

Beim PSI wird die durch die Beschleunigeranlage induzierte Streustrahlung (PSI-West) resp. die Strahlung von radioaktiven Abfällen (Bundeszwischenlager) am Standort (PSI-Ost) erfasst.

Bei Siedewasserreaktoren (KKM und KKL) gelangt im Betrieb durch die Frischdampfleitung das Aktivierungsprodukt <sup>16</sup>N ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, wird Gammastrahlung des <sup>16</sup>N aus der Luft gut detektiert. KKW mit Druckwasserreaktoren (KKG und KKB) weisen eine sehr geringe Gesamtstrahlung auf und sind in der Regel nicht erkennbar.

Ausserhalb der umzäunten Areale der Kernanlagen wurde keine erhöhte künstliche Radioaktivität festgestellt, die nicht durch den Reaktorunfall in Tschernobyl oder die Kernwaffenversuche der sechziger Jahre erklärt werden kann. Der Aktivitätspegel in der Umgebung ist über die letzten 15 Jahre konstant geblieben.